

# NASIPI ZA OBRANU OD POPLAVA – PRORAČUN PREMA EUROKODU

prof. emerita Tanja Roje-Bonacci,  
dipl. ing. građ.

Fakultet građevinarstva, arhitekture  
i geodezije Sveučilišta u Splitu  
Matice hrvatske 15, 21000 Split  
[bonacci@gradst.hr](mailto:bonacci@gradst.hr)

Nasipi za obranu od poplava su geotehničke građevine. One su bitne građevine za zaštitu ljudskih života i materijalnih dobara. Eurocode 7: Geotehničko projektiranje-dio 1.: Opća pravila, o njima ne vodi dovoljno računa. Projektanti su dužni pridržavati se naputaka iz ovog propisa, a oni se nalaze u nekoliko poglavlja EC7/1, što za projektante može djelovati zbunjujuće.

Ovim radom nastojalo se pomoći projektantima pri projektiranju i dimenzioniranu nasipa za obranu od poplava prema Eurokodu 7.

Manjkavost EC7 u odnosu na nasipe za obranu od poplava uočila je i grupa za praćenje projekta pod nazivom „International Levee Handbook (ILH)“ (CIRIA C731, (2013.)), te je za potrebe Ujedinjenog Kraljevstva i Irske izradila 2014. godine nacionalne upute pod nazivom “Primjena Eurokoda 7 na projektiranje nasipa za obranu od poplava” (dostupne na internetu). Tekst koji slijedi nije prijevod tog rada niti ga opisuje.

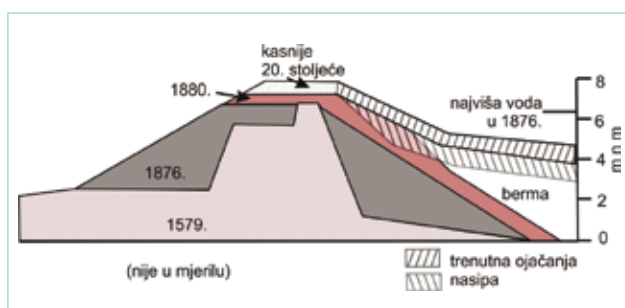
**Ključne riječi:** nasip, poplava, Eurokod 7, projektni pristup, parcijalni koeficijenti

## 1. UVOD

Nasipi za obranu od poplava su građevine koje prate sve sjedilačke narode ljudske civilizacije. Bez vode nisu mogli opstati, ali su se, jednako tako, od njenog viška morali i braniti. Do danas se ništa nije promijenilo. Svjedoci smo stalne borbe s vodom koja iziskuje projektiranje i izgradnju novih

i/ili rekonstrukciju i nadvišenje postojećih nasipa. Iako oni nisu jedina garancija obrane od poplava, predstavljaju glavne građevine u sustavu. Da to nije samo slučaj s hrvatskim rijekama pokazuje [slika 1](#).

Ulaskom Hrvatske u Europsku uniju prihvaćeni su i njezini propisi u području graditeljstva, a koji se u ovom slučaju odnose i na projektiranje i izvedbu nasipa svih vrsta pa i onih za obranu od poplava. Oni su obuhvaćeni u Eurokod-u 7: Geotehničko projektiranje, koje se sastoji od dva dijela: dio 1. Opća pravila i dio 2. Istraživanje i ispitivanje tla. Pri tom se uvažavaju opće odredbe u EN 1990., Eurokod: Osnove proračuna građevina i EN 1991., Eurokod 1: Djelovanje na građevine. Kad se nasipi nalaze na područjima osjetljivim na potres potrebno je primijeniti i odredbe EN 1998., Eurokod 8: Proračun građevina na otpor potresu.



Slika 1: Nasipi na rijeci Rajni kroz stoljeća

## 2. OSNOVNE SMJERNICE PRORAČUNA PREMA EUROKOD-U OPĆENITO

Eurokod 7 bavi se geotehničkim projektiranjem, ali ne obuhvaća velike nasute brane, tunele, klizišta i njihovu sanaciju i još poneke tipične geotehničke građevine.

Poglavlje 2. (EC7) daje upute za geotehničko projektiranje. U tom se poglavlju javljaju pojmovi „proračunski zahtjevi i proračunske okolnosti“. Proračunski zahtjevi odnose se na određivanje graničnih stanja koje za određenu građevinu treba provjeriti. Proračunskim okolnostima treba utvrditi određene uvjete u kojima će se građevina naći tijekom svog vijeka trajanja (EC7/1, 2.1 (2)).

Građevinu treba projektirati u suglasju s općim načelima iz EC 1: Osnove projektiranja i djelovanja na konstrukcije – 1. dio: Osnove projektiranja. Osnovna načela svode se na to da projektna (faktorizirana) djelovanja ( $E_d$ ) ne prekorače vrijednosti odgovarajućeg projektnog (faktoriziranog) otpora ( $R_d$ ):  $E_d \leq R_d$  (2.5; EC7/1; 2.4.7.3.1).

Granična stanja mogu se provjeriti (EC7/1, 2.1(4)):

- uporabom proračuna,
- primjenom propisanih mjera,
- pomoću ispitivanja modela i pokusnog opterećenja,
- pomoću opažanja,

odnosno njihovim kombinacijama.

Nužno je utvrditi složenost svakog geotehničkog projekta. U tom smislu EC 7 predviđa dvije mogućnosti ((EC7/1, 2.1(8)) :

- jednostavne, manje zahtjevne građevine za koje je moguće, na osnovi iskustva i kvalitativnih istražnih radova, osigurati temeljne zahtjeve uz zanemarivanje opasnosti za vlasništvo i živote;
- sve ostale geotehničke građevine.

EC 7 predviđa da se prije pristupa projektiranju građevina odrede geotehnički projektni zahtjevi. To se može učiniti tako da se buduća građevina svrsta u pripadnu „geotehničku kategoriju“ (EC7/1, 2.1(10–21)). Predviđene su tri geotehničke kategorije. Može se dogoditi da u kasnijim fazama projektiranja treba promijeniti početno odabranu kategoriju, a moguće je i to da se pojedini dijelovi iste građevine svrstaju u različite kategorije.

### Geotehnička kategorija 1

Uključuje samo male i jednostavne građevine sa zanemarivim rizikom. Koristi se pri iskopima iznad razine podzemne vode, osim kada iskustvo pokazuje da će iskop ispod razine podzemne vode biti jednostavan. Uključuje iskope do dubine od 2,0 m.

### Geotehnička kategorija 2

Uključuje uobičajene tipove građevina, uključujući plitke i druge temelje, zidove i druge potporne građevine,

iskope, nasipe i druge zemljane građevine koje zahtijevaju kvantificirane geotehničke podatke, ali ne zahtijevaju više od rutinskih postupaka u ispitivanju tla.

### Geotehnička kategorija 3

U njega su svrstane sve građevine koje ne pripadaju u prvu i drugu kategoriju.

U poglavlju 2.2 Proračunske okolnosti, razlikuju se trenutne i trajne proračunske okolnosti (EC7/1, 2.2). Ova odredba neobično je važna za projektiranje nasipa za obranu od poplava. Nasipi za obranu od poplava su **trajne građevine** koje imaju **trenutne funkcije**. Oni djeluju jedino i isključivo u trenutku pojave velikih voda (osim ako nemaju dvojaku namjenu). Pojava je periodična, nepravilna u vremenu i nepredvidiva, ali se na nju treba računati, jer u protivnom građevine gube svrhu postojanja. Ovdje se može dodati i **slučajna proračunska okolnost** vezana na slučajna djelovanja (detaljno opisane u EC1, dio 1.7, slučajna djelovanja), kao na primjer pojava potresa u područjima visoke seizmičnosti, pojava poplave višeg povratnog razdoblja od računskog, udar broda u nasip, kada je on dio plovnog puta. Pri tom nije nužno kombinirati trenutnu i slučajnu proračunsku okolnost.

U poglavlju 2.2 je nabrojen niz proračunskih okolnosti koje treba uzeti pri projektiranju. Sve se one, naravno, ne odnose na nasipe, već na sve geotehničke građevine.

## 3. GEOTEHNIČKO PROJEKTIRANJE PODRŽANO PRORAČUNOM (EC7/1, 2.4)

Proračun se osniva na pojmu *graničnih stanja* (ultimate limit state – ULS). Određenjem graničnih stanja uvode se mjere pouzdanosti u inženjerstvo. Subjektivne se nesigurnosti mogu umanjiti osiguranjem kakvoće. Za objektivne se nesigurnosti, u postupku projektiranja, određuju čimbenici koji će osigurati tražene stupnjeve pouzdanosti građevine.

U ovaj proračun treba uključiti:

- djelovanja, koja mogu biti prisilna opterećenja ili prisilni pomaci,
- svojstva tala, stijena i ostalih gradiva,
- geometrijske podatke,
- granične vrijednosti deformiranja, širine pukotina, vibracije itd.,
- proračunske obrasce.

Djelovanja mogu biti povoljna i/ili nepovoljna. Mogu djelovati kao opterećenja i kao otpori. O tome ovisi odabir parcijalnih koeficijenti kojima se faktoriziraju projektna djelovanja. U nekim slučajevima trajna stabilizirajuća (otpори), povoljna i trajna destabilizirajuća (opterećenja), nepovoljna djelovanja mogu dolaziti iz istog izvora. U takvim se slučajevima isti izvor djelovanja faktorizira različitim parcijalnim koeficijentima.

EC7/1 2.4.2 „Napomena: Za nepovoljna (ili destabilizirajuća) i povoljna (ili stabilizirajuća) trajna djelovanja, u nekim se okolnostima smije smatrati da proizlaze iz jednog izvora. Ako se tako smatra, smije se primijeniti jedan parcijalni koeficijent na zbroj ovih djelovanja ili na zbroj njihovih učinaka.”

Ovo često zbunjuje projektante, ali je prema EC7 u potpunosti ispravno. Primjer će biti prikazan u nastavku.

Svi Eurokodovi, pa tako i EC7, primijenjuju proračune koji se temelje na PARCIJALNIM KOEFICIJENTIMA SIGURNOSTI za opterećenja i za sva svojstva gradiva od kojih se predmetna građevina izvodi. Parcijalni se koeficijenti vežu uz određeno granično stanje.

Za proračun i dimenzioniranje nasipa bitno je odrediti vrijednosti geotehničkih parametara. Eurokod razlikuje svojstvene vrijednosti i proračunske vrijednosti između ostalog i geotehničkih parametara.

Svojstvene vrijednosti geotehničkih parametara odnose se na podatke dobivene terenskim i laboratorijskim ispitivanjima i njihovom statističkom obradom. To su mjerodavni, nefaktorizirani ulazni podatci. Proračunske vrijednosti su one s kojima se vrši proračun i koje su faktorizirane parcijalnim koeficijentima na način:

$$X_d = \frac{X_k}{\gamma_M}; \text{ gdje je } X_d \text{ proračunska vrijednost svojstva}$$

gradiva, a  $X_k$  svojstvena vrijednost svojstva gradiva. Vrijednosti  $\gamma_M$  se biraju za trajne i privremene okolnosti, odnose se na gradivo (M- materijal), a dane su u [tablici 1](#).

Tablica 1: (EN 1997-1, Tablica A.2) Parcijalni koeficijenti za parametre tla ( $\gamma_M$ );

Parametar tla	Oznaka	Vrijednost
Kut unutarnjeg trenja <sup>a</sup>	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Efektivna kohezija	$\gamma_c$	1,25
Nedrenirana posmična čvrstoća	$\gamma_{cu}$	1,4
Jednoosna čvrstoća	$\gamma_{qu}$	1,4
Prostorna težina	$\gamma_\gamma$	1,0

<sup>a</sup> s ovim se parcijalnim koeficijentom dijeli  $\tan\phi'$

U fazi projektiranja, da bi se odredilo stanje građevine u odnosu na neko granično stanje, primijenjuju se odgovarajući proračunski modeli. Osnovna podjela, kako je naprijed rečeno, je na:

- **granična stanja nosivosti** (krajnja granična stanja) i
- **granična stanja uporabivosti**.

Granično stanje nosivosti (EC7/1, 2.4.7) je stanje sloma ili nestabilnosti građevine (ili njezinih dijelova) u bilo kom obliku, koje može ugroziti sigurnost ljudi i/ili samu građevinu. Granično stanje uporabivosti je ono pri kojem građevina ne može više služiti predviđenoj svrsi iz bilo kojeg razloga.

Javlja se pet graničnih stanja nosivosti (ULS):

1. **EQU**, gubitak ravnoteže građevine ili tla, promatranih kao kruto tijelo, pri čemu čvrstoća gradiva građevine ili tla ne može pružiti zadovoljavajući otpor; *uobičajeno se ne odnosi na nasipe*.
2. **STR**, unutarnji lom ili pretjerana deformacija građevine ili nekog njenog dijela, kod kojih čvrstoća gradiva značajno pridonosi otpornosti; *važno za nasipe*.
3. **GEO**, lom ili pretjerana deformacija temeljnog tla pri kojoj čvrstoća tla ili stijene značajno pridonosi otpornosti, tj. općoj stabilnosti; *važno za nasipe*.
4. **UPL**, gubitak stabilnosti građevine ili tla uslijed djelovanja uzgona ili drugih sila smjera suprotnog gravitaciji;
5. **HYD**, hidraulički slom, unutarnja erozija i cijevljenje, uslijed djelovanja strujanja vode kroz nasute građevine i tlo.

Za proračun nasipa za obranu od poplava važna su sva granična stanja, te ih je stoga bitno provjeriti. Nešto manje značajno je granično stanje EQU, u kojem se razmatra gubitak stabilnosti građevine kao krutog tijela. Pri tom je čvrstoća gradiva i temeljnog tla bez utjecaja na otpornost. Ovo je stanje rijetko u geotehničkom inženjerstvu. (CIRIA, 2013.)

U EC7/1 o nasipima, bolje rečeno nasipavanju općenito i vrlo šturo, govori se u poglavlju 5: Nasipavanje, odvodnja poboljšanje i ojačanje temeljnog tla. Nedostatak detaljnijeg razmatranja utjecaja tečenja vode na geotehničke građevine općenito i posebnosti nasutih građevina kao takvih, uočen je, te je EC7 naknadno dodano poglavlje 10. Hidraulički slom i poglavlje 12 Nasipi. U poglavlje 10 je utrpalo sve što se tiče učinaka vode u i na geotehničke građevine.

Na nasipe se odnosi i dio poglavlja 11 Opća stabilnost, u kojem se, između ostalog, govori o stabilnostima kosina, a koje su sastavni dijelovi nasipa.

U točki 2.4.7.3.4 Proračunski pristupi, EC7 govori o tri **proračunska pristupa** prilikom provjere otpornosti za granična stanja STR i GEO. Proračunske pristupe svaka članica EU donosi u svom Nacionalnom dodatku. Hrvatska je odabrala proračunski pristup 3 (PP3).

**PP3 (A1d ili A2e)+M2+R3**; d – za sile od konstrukcije; e – za geotehničke sile

Ovi proračunski pristupi odnose se na primjenu parcijalnih koeficijenata na grupu djelovanja –A, grupu gradiva, uključujući i tlo, –M i grupu koja se odnosi na otpornost –R. U tablicama koje slijede prikazane su kombinacije proračunskih pristupa i parcijalni koeficijenti za djelovanja (A), gradiva (M) i otpore (R).

Tablica 2: Moguće kombinacije u projektnim pristupima

Projektni pristup	Kombinacije
1	A1+M1+R1 A2+M2+R1
2	A1+M1+R2
3	(A1 ili A2)+M2+R3

Tablica 3: (Tablica A.2; EC7/1) Parcijalni koeficijenti za djelovanja ( $\gamma_p$ );

Djelovanje ( $g_p$ )	Simbol	A1	A2
TRAJNO			
Nepovoljno	$\gamma_G$	1,35	1,00
Povoljno	$\gamma_G$	1,00	1,00
POVREMENO			
Nepovoljno	$\gamma_Q$	1,50	1,30
Povoljno	$\gamma_Q$	0	0

Tablica 4: (Tablica A.5; EC7/1) Parcijalni koeficijenti otpora ( $\gamma_R$ );

Otpor ( $g_R$ )	Simbol	R1	R2	R3
Nosivost	$\gamma_{Rv}$	1,0	1,4	1,0
Klizanje	$\gamma_{Rh}$	1,0	1,1	1,0

Tablica 5: (Tablica A.4; EC7/1) Parcijalni koeficijenti za parametre tla ( $\gamma_{sp}$ ); (dopunjena tablica 1)

Parametar tla	Oznaka	M1	M2
Kut unutarnjeg trenja	$\gamma_\phi$	1,0	1,25
Efektivna kohezija	$\gamma_c$	1,0	1,25
Nedrenirana posmična čvrstoća	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Jednoosna čvrstoća	$\gamma_{qu}$	1,0	1,4
Prostorna težina	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Može se uočiti da su upute za projektiranje hidrotehničkih nasipa, kao i nasipa općenito, prilično raštrkane po poglavljima EC7.

#### 4. SMJERNICE PRORAČUNA PREMA EC7/1 POGLAVLJA 10 HIDRAULIČKI SLOM, 11 CJELOKUPNA STABILNOST I 12 NASIPI

U hrvatskoj geotehničkoj terminologiji „hidraulički slom“ je jednoznačno određen. Dijelovi poglavlja 10 Hidraulički slom, obuhvaćaju granična stanja UPL i HYD. Izravno su primjenjivi pri projektiranju nasipa za obranu od poplava. U poglavlju 10 pod ovim se pojmom podrazumijevaju četiri (negativna) utjecaja vode na geotehničke građevine:

- slom prouzročen djelovanjem uzgona
- hidraulički slom tla
- slom prouzročen unutarnjom erozijom
- slom prouzročen sufozijom, (cijevljenjem uslijed iznošenja čestica).

Sva ova djelovanja izazvana su pojavom hidrauličkog gradijenta u potencijalnom polju. U EC7/1 2.4.7.5 opisan je način provjere graničnog stanja sloma (HYD) obzirom na tečenje vode kroz temeljno tlo, ali se isto može primijeniti na proračun pri tečenju kroz nasipe.

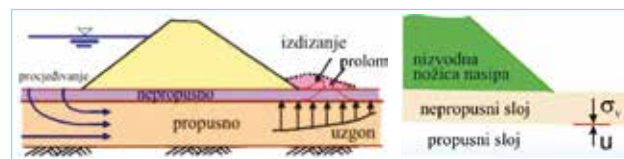
#### 4.1. Poglavljje 10 Hidraulički slom

##### 4.1.1. Djelovanje uzgona (EC7/1, 10.2)

EC7/1 2.4.7.5(P) "... za svaki se odgovarajući stupac tla mora provjeriti da je proračunska vrijednost destabilizirajućeg ukupnog tlaka vode ( $u_{dst;d}$ ) na podnožju stupca ili proračunska vrijednost sile tečenja vode ( $S_{dst;d}$ ) u stupcu, manja ili jednaka stabilizirajućem ukupnom uspravnom naprezanju ( $\sigma_{stb;d}$ ) na podnožju stupca ili uronjenoj težini ( $G'_{stb;d}$ ) istoga stupca (slika 2):

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (2.9a)$$

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \quad (2.9b)$$



Slika 2: Model graničnog stanja sloma uslijed djelovanja uzgona (Roje-Bonacci, 2015.)

EC7/1 2.4.7.5 (2) P kaže: "U jednadžbama (2.9a) i (2.9b) moraju se za stalne i prolazne situacije upotrijebiti parcijalni koeficijenti za  $u_{dst;d}$ ,  $S_{dst;d}$ ,  $S_{dst;d}$  i  $G'_{stb;d}$  koji su određeni u točki A.5(1) P ili su određeni Nacionalnim dodatkom."

EC7/1 A.5 (1) P kaže: „Za provjeru graničnoga stanja hidrauličkog izdizanja tla (HYD), djelovanja se moraju množiti sljedećim parcijalnim koeficijentima ( $\gamma_p$ ):

- $\gamma_{G;dst}$  za destabilizirajuća nepovoljna trajna djelovanja
- $\gamma_{G;stb}$  za stabilizirajuća povoljna trajna djelovanja
- $\gamma_{Q;dst}$  za destabilizirajuća nepovoljna promjenljiva djelovanja.

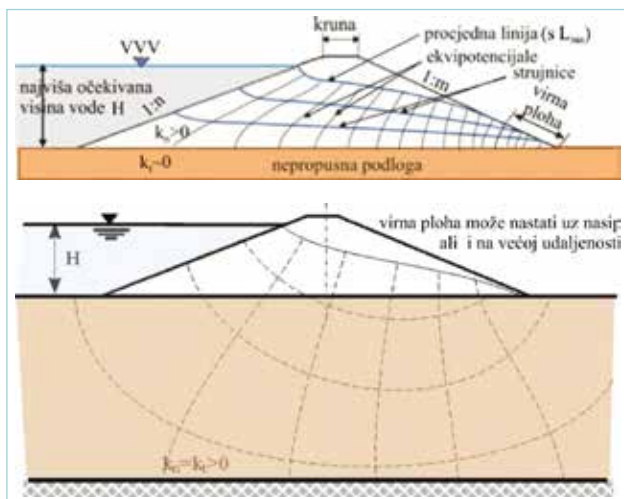
Tablica A.17 daje preporučene vrijednosti."

Prethodno su ovi koeficijenti prikazani u tablici 3.

Bond i Harris (2008.) smatraju jednadžbu, koja uvažava strujnu silu za efektivno naprezanje (2.9b), manje konzervativnom od jednadžbe koja uvažava pristup preko totalnog napreznja (2.9a). Stoga, kada god je moguće, preporučuju koristiti jednadžbu 2.9a. Postoje međutim situacije kada to nije slučaj (npr. potopljeni nepropusni sloj). Stoga napominju projektantima da treba za proračun pažljivo odabrati odgovarajuću jednadžbu (CIRIA C731, 2013.)

#### 4.1.2. Hidraulički slom (EC7/1 10.3)

EC7/1 govori o hidrauličkom slomu ilustriranom klasičnim primjerom, procjeđivanjem ispod zagatne stjenke (EC7/1, slika 10.2). Kod nasipa ono nastaje pri procjeđivanju vode kroz nasip ili, češće, kroz nasip i podlogu. Za nasipe za obranu od poplave kritično je dugo trajanje vrlo visoke poplavne vode, koja uvjetuje stacionarno procjeđivanje kroz nasip i oblikovanje virne plohe na nizvodnom pokosu. Na nizvodnom pokosu nasipa javlja se izlazni hidraulički gradijent.



Slika 3: Objasnjenje procjeđivanja kroz nasip i podlogu s elementima za proračun izlaznog hidrauličkog gradijenta  $i_{izl}$  (Roje-Bonacci, 2015.)

Proračun izlaznog hidrauličkog gradijenta može se izvesti iz podataka strujnog polja sa [slike 3](#)

$$i_{izl} = \frac{H}{L_{min}} \quad (1)$$

gdje je H visinska razlika između gornje i donje vode, a  $L_{min}$  dužina procjedne linije kao najkraćeg puta čestice vode kroz nasip ili podlogu. Kritična točka na kojoj započinje hidraulički slom je u nožici nasipa, ali može biti i u nekoj geotehnički nepovoljnoj točki u zaoblju, na nizvodnoj strani nasipa (Roje-Bonacci, 2015.).

Dobiveni izlazni gradijent se uspoređuje s kritičnim izlaznim gradijentom pri kojem dolazi do iznošenja čestica. Pri tom mora biti zadovoljena nejednakost:

$$i_{izl} < i_{krit} \quad (2)$$

Izraz za kritični izlazni gradijent ovisi o prostornoj težini kako slijedi:

$$i_{krit} = \frac{\gamma_{zas} - \gamma_v}{\gamma_v} \quad (3)$$

gdje je  $\gamma_{zas}$  zasićena gustoća tla,  $\gamma_v$  gustoća vode.

To proizlazi iz uvjeta da je efektivno naprezanje, izraženo vektorski preko gustoća, na promatranoj plohi jednako nuli.

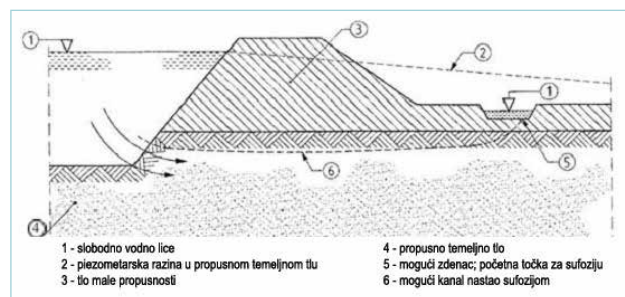
$$\vec{\gamma}'' = \vec{\gamma}' - \vec{i} * \gamma_v; \quad \vec{\gamma}'' = 0 \quad (4)$$

#### 4.1.3. Unutarnja erozija (EC7/1 10.4)

Unutarnja erozija nastaje u zoniranim nasipima na granici dvaju gradiva ako nisu odabrana ispravno prema filtarskom pravilu. Unutarnja se erozija može spriječiti ugradnjom filtarskih slojeva od prirodnih i/ili umjetnih (geotekstili) gradiva.

#### 4.1.4. Sufozija ili cijevljenje (EC7/1 10.5)

Sufozija je pojava iznošenja čestica iz temeljnog tla nepovoljnog granulometrijskog sastava, pri određenim hidromehaničkim uvjetima. Sufozija počinje na nizvodnoj strani nasipa i širi se u uzvodno gledajući na poprečni presjek nasipa. Naziva se još i cijevljenje, jer u krajnjem slučaju oblikuje cijev kroz koju slobodno prolazi voda, širi cijev i dovodi do proloma nasipa. Učinak cijevljenja je prikazan na [slici 4](#). Više o cijevljenju vidi Roje-Bonacci (2015.).



Slika 4: Primjer uvjeta koji mogu prouzročiti stvaranje kanala izazvanih sufozijom (EC7/1, slika 10.3)

## 4.2 Poglavlje 11 Opća stabilnost (granična stanja STR i GEO)

Za nasipe za obranu od poplave granična stanja STR i GEO su bitna u dijelu u kojem se govori o analizi stabilnosti. U točki 11.1 (1) P navodi se da se "odredbe ovog poglavlja moraju primijeniti između ostalog i na kosine (prirodne, nasipa i usjeka)."

Za dva gore navedena granična stanja EC7/1 (2.2) predviđa opterećenja u tri različite projektne situacije. To je situacija za *trajno* opterećenje, situacija za *povremeno* opterećenje i situacija za *slučajno* opterećenje. Kako je prethodno rečeno, nasipi za obranu od poplave su trajne građevine s povremenom funkcijom, ali bitnom i osnovnom



u trenutku poplave. Kao i svaka druga građevina mogu biti izložene slučajnim opterećenjima (požar, eksplozija). U slučaju nasipa za obranu od poplava slučajno opterećenje je i iznimno visoka voda koja izlazi iz okvira proračuna za odabrano povratno razdoblje. U područjima visoke seizmičnosti treba izvršiti proračun na utjecaj potresa. U tom slučaju ne treba u proračun istovremeno uzeti utjecaj potresa i iznimno visoke vode. Pri proračunu na potres treba primijeniti pravila prema EC8.

Stavak 11.3 detaljno govori o načinu odabira djelovanja slobodne i podzemne vodene građevine. Također navodi da je potrebno voditi računa na učinak naglog sniženja vanjske vode u kanalima i/ili akumulacijama, a što je također primjenjivo i na nasipe za obranu od poplava.

U stavku 11.4 (4) navode se „tipične građevine za koje je potrebno provesti proračun stabilnosti:

- potporne građevine
- usjeci, zasjeci, kosine ili nasipi
- temelji na nagnutom temeljnom tlu, prirodnim kosinama ili nasipima
- temelji u blizini usjeka, zasjeka, podzemnih građevina ili obale.“

Stavak 11.5.1 Proračun stabilnosti kosina kaže „(1) P Za granična stanja nosivosti (GEO i STR) mora se provjeriti opća stabilnost kosina, uključujući postojeće građevine, one na koje će se utjecati ili planirane, s onim proračunskim vrijednostima djelovanja, otpornosti i čvrstoća za koje se moraju upotrijebiti parcijalni koeficijenti određeni u točkama A.3.1(1) P, A.3.2(1) P i A.3.3.6(1) P. NAPOMENA: Vrijednosti parcijalnih koeficijenata smiju se zadati u Nacionalnom dodatku.“

Za Hrvatsku je u Nacionalnom dodatku izabran PP3 i pripadni parcijalni koeficijenti koji su prikazani u [tablicama 2, 3, 4 i 5](#).

Pri proračunu graničnog stanja stabilnosti kosine koji se provodi pri proračunu stabilnosti kosina nasipa za obranu od poplava, moment prevrtanja  $M_g$  je djelujući moment, dok povratni moment  $M_R$  ima učinak momenta otpora. Pri proračunu prema EC7 proračun mora pokazati da veličina momenta otpora prelazi vrijednost djelujućeg momenta za svaki mogući mehanizam sloma.

$$\frac{E_d}{R_d} = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \Lambda_{GEO} \leq 1 \quad (5)$$

gdje je  $\Lambda_{GEO}$  stupanj uporabivosti pri raspoloživom otporu kod djelovanja ili učinka djelovanja. To je obrnuta vrijednost faktora sigurnosti. U primjeru koji slijedi pokazano je kako proračun pomoću parcijalnih koeficijenata primijeniti u analizi stabilnosti metodom Bishopa.

$$\Lambda_{GEO} = \frac{\sum_i \{ (W_{d,i} + Q_{d,i}) \sin \alpha_i \}}{\sum_i \left\{ \frac{c'_{d,i} b_i + (W_{d,i} + Q_{d,i} - u_{d,i} b_i) \tan \phi_{d,i} \sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \tan \phi_{d,i} (\Lambda_{GEO})} \right\}} \leq 1 \quad (6)$$

U jednadžbi 6 oznaka „d“ obilježava projektnu vrijednost (vrijednost na koju je primijenjen parcijalni koeficijent). Treba naznačiti da vrijednost vlastite težine  $W_{d,i}$  i djelujućeg, vanjskog opterećenja,  $Q_{d,i}$  u gornjoj jednadžbi istovremeno predstavljaju i djelovanje i otpor. To usložnjava primjenu, kod izraza za analizu stabilnosti, kod kojih na pojedina (ista) svojstva treba primijeniti različite parcijalne koeficijente za povoljne i nepovoljne situacije. Upravo je to naprijed navedeni slučaj koji se spominje u EC7/1 2.4.2.

Bond i Harris (2008.) naznačili su poteškoće kod primjene parcijalnih koeficijenata kod analiza stabilnosti. Naglašavaju da primjena vrijednosti faktoriziranih parametara može kao „kritičnu“ kliznu plohu označiti različitu kliznu plohu od one koja bi se dobila da su se u proračun uvrstile svojstvene vrijednosti tih istih parametara, a što može biti različito i od stvarnosti. Oni predlažu da se najprije provede proračun sa svojstvenim (nefaktoriziranim) vrijednostima parametara djelovanja i otpora, kako bi se utvrdio kritični mehanizam sloma. Nakon toga treba provesti proračun prema EC7, koristeći parcijalne faktore za utvrđivanje graničnog stanja sloma pri vrednovanju stabilnosti istog proračunskog slučaja.

Sličan se problem javlja pri korištenju metode konačnih elemenata, kada se parcijalni koeficijenti koriste za otpornosti (R). To može utjecati na svojstva modela.

Royet i Peyas (2010.) daju prijedlog za proračun analiza stabilnosti kosina metodom Bishopa prema EC7 za područje Francuske. Uvode tzv. faktor modela  $g_\theta$  koji je jednak recipročnoj vrijednosti veličine  $L_{GEO}$  iz jednadžbe (6). To samo govori o tome kako je proračun analiza stabilnosti kosina prema EC7, pomoću faktoriziranih parametara nedorečen te ga treba provoditi s velikom pažnjom.

Kada se nasip gradi na sloju mekih glina uobičajeno je proračun stabilnosti, za temeljno tlo, provesti s nedreniranim vrijednostima parametara. Ovaj se slučaj događa na završetku gradnje, kada su porni tlakovi uslijed nanesenog opterećenja novim nasipom u podlozi najveći. (vidi: CIRIA C731, 2013. pog. 9.10.3, Ladd i Foott, 1974., Jardine i Hight, 1987. i Ladd, 1991.)

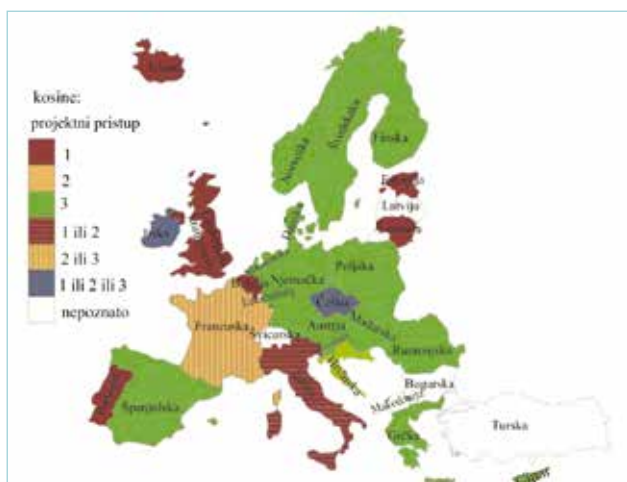
#### 4.3. Poglavlje 12 Nasipi

Ovo poglavlje odnosi se na nasipe za male brane i infrastrukturu. Daje detaljne upute o graničnim stanjima koja treba provjeravati prilikom proračuna nasipa (12.2). Zatim upućuje na točke koje je potrebno razmotriti prilikom odabira djelovanja i proračunskih okolnosti. Tu navodi i posebne proračunske okolnosti koje se moraju uzeti u obzir, a koje su bitne pri izgradnji nasipa. (12.3). U članku 12.4 daje neke odrednice za projektiranje i

izvođenje, a koje se odnose isključivo na nasipe i nisu prethodno navedene. U točkama 12.5 i 12.6 osvrće se na proračune graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja uporabivosti svojstvenih nasipima. Gdje je god moguće u ovom poglavlju se upućuje na zahtjeve iz prethodno opisanih poglavlja.

### Različiti projektni pristupi u državama Europske unije (CIRIA C731, (2013.))

U zemljama Europske unije primjena parcijalnih koeficijenata za proračune koji se koriste u različitim jednadžbama nije jednoobrazna. Kako EC7 dozvoljava tri različita proračunska pristupa to primjena parcijalnih koeficijenata ovisi o odabranom proračunskom pristupu u pojedinoj državi. Na slici 5 prikazan je odabir proračunskih pristupa u pojedinim europskim državama.



Slika 5: Odabir Proračunskog pristupa prema pojedinim članicama EU-a (prema CIRIA 2013. s dopunom autorice)

## 5. ZAKLJUČAK

U prethodno prikazanom tekstu pokušalo se projektantima nasipa za obranu od poplava ukazati na poteškoće do kojih je dovela obavezna primjena EC7, a koji o ovim vrlo važnim građevinama nije dao dovoljno jasne upute za projektiranje.

Iz postojećih propisa pokušalo se sistematizirati bitne zahtjeve i upute potrebne za projektiranje ovakvih građevina, a da se pri tom zadovolje zahtjevi važećih propisa. Unaprijed spomenutom tekstu (CIRIA 749, 2017. dan je još niz dodatnih smjernica koje pri projektiranju ovakvih nasipa treba uvažiti i o njima voditi računa.

Nasipi su trajne građevine koje samo povremeno dolaze u funkciju. U tom su smislu danas podložne ocjeni rizika, o čemu u propisima nema nikakvih naputaka.

Valja napomenuti da je sastavni dio nasipa za obranu od poplava tlo, na kojem nasipi leže. Dok je nasip pažljivo projektirana i kontrolirano izvedena građevina, dotle uvijek ostaje, većim dijelom, nepredvidiva podloga koja je često mnogo opasnije od samog nasipa. Tek tu ocjena rizika dolazi do izražaja prilikom usporedbe cijene koštanja istražnih radova i mogućih šteta koje mogu nastati nedovoljnim poznavanjem svojstava tla na vrlo izduženim trasama nasipa.

## ZAHVALA

Ovim se putem zahvaljujem dvojici kolega, nepoznatim recenzentima, temeljem čijih se primjedbi kakvoća ovog rada poboljšala. ■

## LITERATURA

- Bond, A.; Harris, A. (2008.), *Decoding Eurocode 7*, Taylor&Francis, Abingdon
- CIRIA C731, (2013.), *The International levee Handbook*. CIRIA, London.
- CIRIA C749, (2014.), *Application of Eurocode 7 to the design of flood embankments*. CIRIA, London.
- Jardine, R.J.; Hight, D.W. (1987.), *The behaviour and analysis of embankments on soft clay*. Special Publication, Bulletin of the Public Works Research Centre, str 159-244. Ministry of Environment, Athens.
- Ladd, C.C.(1974.), *Stability evaluation during staged construction*. Journal of Geotechnical Engineering, vol 117, 4, American Society of Engineers, str. 540-615, Roston VA, USA.
- Ladd, C.C.; Foott, R.; (1974.), *New design procedure for stability of soft clays*. Journal of Geotechnical Engineering Division, Proceeding of ASCE, vol 100, GT7 American Society of Engineers, str. 763-786, Roston VA, USA.
- Roje-Bonacci, T., (2015.) *Nasute građevine*. Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
- Royet, P.; Peyas, L. (2010.) *New French guidelines for structural safety of embankment dams in a semiprobabilistic format*. In: Proc IECS 2010, 8th ICOLD Europan Clubsymposium dam safety-sustainability in changing environment, Innsbruck, Autriche, pp 353-358.

### Flood embankments – calculation according to Eurocode

**Abstract.** Flood embankments are geotechnical facilities important for protection of human life and property. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General Rules; however, they are insufficiently taken into account. Design engineers are obliged to comply with the guidelines under this regulation, which are included in several EC7/1 chapters and may be confusing the engineers.

The paper attempts to provide help to the engineers in the design and dimensioning of flood embankments according to Eurocod 7.

The EC7 shortcomings with regard to flood protection dikes were noted by the group for the project monitoring – "International Levee Handbook (ILH)" (CIRIA C731, (2013.)). In 2014, they developed the national guidelines for the UK and Ireland – Application of Eurocode 7 to the design of flood embankments" (available on the internet). The text in this paper is not a translation or description of this document.

**Key words:** embankment, flood, Eurocode 7, design approach, partial coefficients

### Hochwasserdämme – Berechnung nach Eurocode

**Zusammenfassung.** Die Hochwasserdämme sind geotechnische Bauwerke, die für den Schutz von Menschenleben und materiellen Gütern wichtig sind. Trotzdem wird den Hochwasserdämmen im Handbuch Eurocode 7 Geotechnische Bemessung Band 1, Allgemeine Regeln, nicht genug Rechnung getragen. Die Fachplaner sollen die Anforderungen dieser Vorschrift erfüllen, die sich aber in mehreren Kapiteln befinden, was verwirrend wirken kann.

Die Unzulänglichkeit der Vorschrift in Bezug auf die Hochwasserdämme wurde auch von der internationalen Expertengruppe im Rahmen der Verfassung des Handbuches „International Levee Handbook (ILH)" (CIRIA C731, 2013) festgestellt. Die Gruppe hat für Fachplaner im Vereinigten Königreich von Großbritannien und Irland die Anweisungen unter dem Titel „Anwendung von Eurocode 7 auf den Entwurf von Hochwasserdämmen" (online verfügbar) in 2014 verfasst.

In diesem Beitrag können die Fachplaner Hilfe beim Entwerfen und bei der Dimensionierung von Hochwasserdämmen nach Eurocode 7 finden. Der folgende Text ist weder Übersetzung noch Beschreibung dieser Anweisungen.

**Schlüsselwörter:** Dam, Hochwasser, Eurocode 7, Projektansatz, partielle Koeffizienten